

УДК 621.791.754

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СВАРКИ РЕЗЕРВУАРОВ ВОЗДУШНОГО ТИПА Р7 – 78

Варнавский Егор Владимирович, студент гр. ТСм-191, II курс
Научный руководитель: Абабков Н. В., к.т.н., доц.
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Введение

Резервуар Р7 – 78 (Рис. 1) предназначен для накопления сжатого воздуха и питания им приборов пневматического тормозного привода. Представляет собой сварную конструкцию из обечайки, двух днищ и штуцеров для подвода трубопроводов. Является элементом штатного оборудования тормозной системы на всех видах транспорта (железнодорожного, автомобильного и т. д.).



Рис. 1. Резервуар воздушного типа Р7 – 78

Актуальность научно – практической задачи

В условиях современной рыночной экономики предприятия стремятся к выпуску качественной продукции при наименьших затратах. В связи с этим перед КемеровоХиммаш – филиал АО «Алтайвагон» стоит задача снижения себестоимости изготовления резервуаров воздушного типа Р7 – 78 [1] за счёт снижения количества брака, уменьшения трудоёмкости, путём рассмотрения возможности запуска второй линии на робототехническом комплексе.

Для предотвращения аварий, чрезвычайных происшествий, техногенных катастроф, которые могут повлечь смерть граждан, а также разрушение как гражданской, так и военной инфраструктуры резервуары воздушного типа Р7 – 78 устанавливаются *абсолютно* на каждый вагон.

Проблемы, возникающие при изготовлении резервуаров воздушного типа Р7 – 78 и способы борьбы с ними

Однако, в настоящее время при эксплуатации данного РТК возникают проблемы при его работе, которые связаны с недостаточной подготовкой обечайек, а именно: для резки листового проката специального назначения установлен большой допуск на лист в связи с подружкой; некачественная зачистка

околошовной зоны до металлического блеска от масел, ржавчины, краски и других загрязнений и как следствие образование скопления пор на днище в сборе; низкачественная или неудовлетворяющая получению необходимого качества сварных соединений проволока; низкое качество или неравномерное соотношение защитной смеси ($Ar85\% + CO_215\%$); недостаточная сила прижима обечайки к медной пластине рычажным зажимом в оснастке.

Данные ошибки влияют на процент остановок робототехнического комплекса – на количество времени, а соответственно и на производительность и как следствие возникающие дефекты (Табл. 1) при изготовлении партии резервуаров воздушного типа Р7 – 78 для тормозов вагонов железных дорог (устанавливаемых на каждый вагон) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52400 – 2005 (пп. 3.1, 4.3.2, 4.3.4, 4.3.8, 4.3.9, 4.4.1, 4.4.2) [2], код ОКПД2 30.20.40.157 [3], ТН ВЭД 8607 21 [4].

Таблица 1. Возможные дефекты

Фотография дефекта	Наименование дефекта	Характеристики дефектов
	Скопление пор	Группа газовых полостей (три или более), расположенных кучно с расстоянием между ними менее трёх максимальных размеров большей из полостей.
	Брызги металла	Капли наплавленного или присадочного металла, образовавшиеся во время сварки и прилипшие к поверхности затвердевшего металла сварного шва или околошовной зоны основного металла.
	Трещина на границе сплавления	Трещина, ориентированная параллельно оси сварного шва и находящаяся на границе сплавления.

Для нахождения решения вышеуказанных проблем нужно обратиться к задачам исследования.

Цель исследования:

Повышение эффективности эксплуатации робототехнического комплекса для сварки резервуаров воздушного типа Р7 – 78.

Задачи исследования:

Проанализировать возможные методы и способы уменьшения количества остановок РТК; выполнить расчёт сварочных напряжений и деформаций по методу конечных элементов обечайки диаметром 299 мм, 300 мм, 301 и 302

мм листов марок сталей 09Г2С, 10ХНДП толщиной 2,5 мм; разработать план экспериментальных исследований, включающий испытания на растяжение и ударный изгиб, а также проверку сварных швов различными методами неразрушающего контроля. Подготовить образцы для экспериментальных исследований; разработать практические рекомендации по использованию полученных результатов в производстве.

Оборудование комплекса

Комплекс построен на базе промышленного сварочного манипулятора (робота) Fanuc ARC оснащённого оборудованием для сварки в среде защитных газов в автоматическом режиме, производитель EWM (European Welding Machines)

Дополнительно к комплексу приобреталась система дымоудаления, производства Еврوليукс FCS ECO – 160000 – 16.

Данная система предназначена для удаления дымов и сварочных аэрозолей из рабочей зоны комплекса. Работает по схеме удаление газов, далее идёт фильтрация и возвращение очищенного воздуха в цех. Эффективность фильтрации: 99,98%.

Методы контроля

Применяют следующие методы контроля, а именно: визуально и измерительный; радиографический; при отсутствии возможности проведения радиографического метода, применяют рентгенотелевизионный; в обязательном порядке проводят гидроиспытания; а также проводят механические испытания, а именно: испытания на растяжение; ударный и статический изгибы.

Результаты расчёта сварочных напряжений и деформаций

Были выполнены расчёты сварочных напряжений и деформаций по методу конечных элементов обечайки диаметров 299, 300, 301 и 302 мм соответственно, листов стали 09Г2С и 10ХНДП толщиной 2,5 мм [5].

Общий вид резервуара воздушного типа Р7 – 78 с сеткой конечных элементов показан на Рис. 2. Схема нагружения резервуара Р7 – 78 показана на Рис. 3. Внутреннее давление обозначается красной стрелкой и составляет 1,05 МПа – 10,5 кгс/см², в свою очередь сила тяжести отображена жёлтой стрелкой и равняется 9,8 м/с². Пример распределения напряжений резервуара показан на Рис. 4.

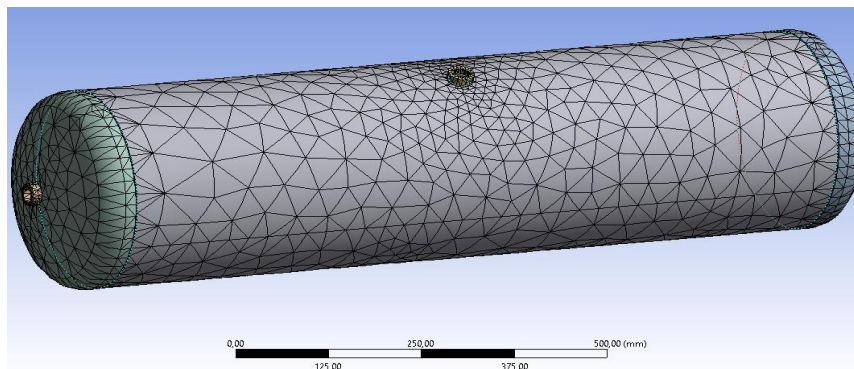


Рис. 2 Общий вид резервуара Р7 – 78 с сеткой конечных элементов

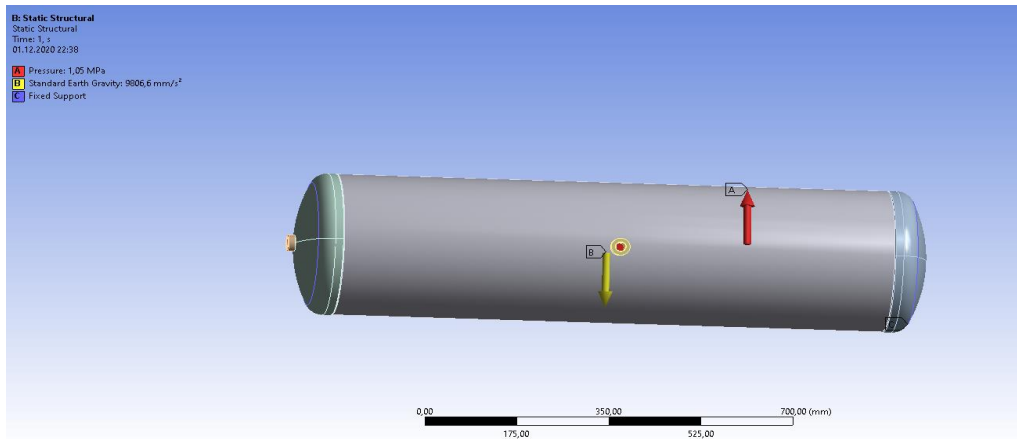


Рис. 3 Схема нагружения резервуара Р7 – 78

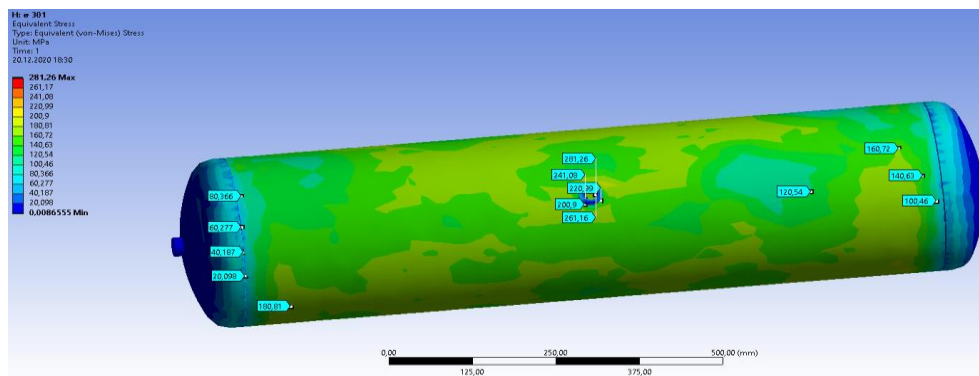


Рис. 4 Пример распределения напряжений резервуара Р7 – 78

Результаты расчёта сварочных напряжений и деформаций

При моделировании проводилось сравнение возникающих напряжений со средними значениями предела текучести и предела прочности для материалов: 09Г2С и 10ХНДП в соответствии с ГОСТ 19281 – 2014.

Механические характеристики для материалов приведены в Табл. 2.

Таблица 2. Механические характеристики исследуемых материалов

Материал/ Характеристика	Предел текучести σ_T , МПа	Предел прочности σ_B , МПа
09Г2С (ГОСТ 19281 – 2014)	345	490
10ХНДП (ГОСТ 19281 – 2014)	345	470

Результаты моделирования по методу конечных элементов, а именно их максимальные напряжения приведены в представленной Табл. 3. Были получены следующие значения максимальных напряжений при толщине листа 2,5 мм: для диаметра 299 мм – 341,14 МПа; для 300 мм – 332,32 МПа; для 301 мм – 281,26 МПа; для 302 мм – 280,58 МПа.

На Рис. 5 – 6 показаны графики (диаграммы) зависимости максимальных напряжений, возникающих в конструкции для четырёх вариантов диаметров при одинаковой толщине листа обечайки.

Таблица 3. Значения напряжений в соответствии с толщиной и диаметром каркаса

Толщина листа, мм	Диаметр обечайки, мм			
	299	300	301	302
2,5	341,14	332,32	281,26	280,58

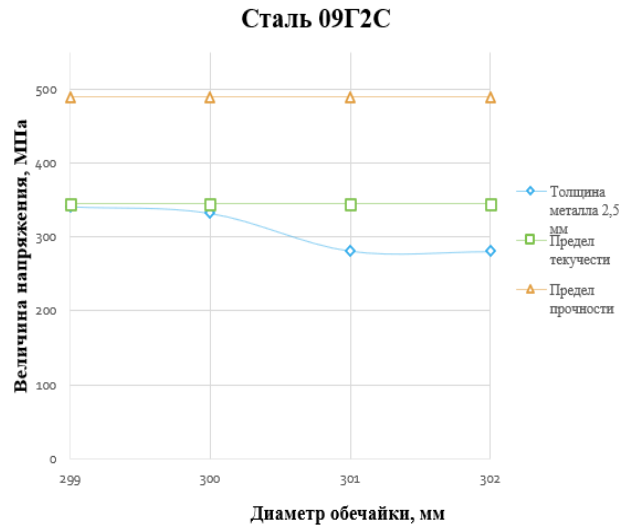


Рис. 5. График (диаграмма) зависимости максимальных напряжений, возникающих в конструкции для четырёх вариантов диаметров при одинаковой толщине. Сталь 09Г2С

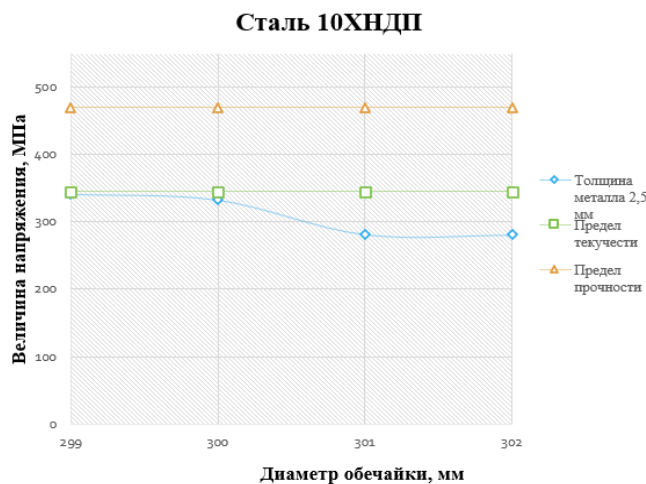


Рис. 6. График (диаграмма) зависимости максимальных напряжений, возникающих в конструкции для четырёх вариантов диаметров при одинаковой толщине. Сталь 10ХНДП

Таким образом, можно подвести промежуточные итоги, а именно: при прочих равных условиях при увеличении диаметра обечайки резервуара воздушного типа Р7 – 78 можно наблюдать снижение напряжений, которые возникают в металле; наиболее предпочтительным вариантом для производства резервуаров воздушного типа Р7 – 78 является резервуар с диаметром 302-1,0 мм, так данный диаметр в свою очередь, с наибольшей вероятностью вызовет

наименьшее количество пластических деформаций, а соответственно и изменений структурной целостности конструкции.

План экспериментальных исследований

Также в соответствии с задачами исследования был разработан план экспериментальных исследований, включающий в себя: определение химического состава металла: образы марки стали 09Г2С; механические методы разрушающего контроля качества сварных соединений, а именно: испытания на растяжение образцов металла после сборки – сварки, марка стали 09Г2С для толщины $S = 2,5$ мм – 2 образца. Определение механических характеристик: предел прочности; испытания на статический изгиб образцов металла после сборки – сварки, марка стали 09Г2С для толщины $S = 2,5$ мм – 2 образца. Оценка прочностных характеристик металла (предел прочности, относительное удлинение); испытания на ударный изгиб, в том числе при отрицательных температурах, образцов металла после сборки – сварки, марка стали 09Г2С для толщины $S = 2,5$ мм это у нас 6 образцов (3 образца при -40 °С; 3 образца при комнатной температуре 20 °С). Определение ударной вязкости.

Контрольные сварные соединения для проведения экспериментальных исследований

Для проведения экспериментальных исследований были подготовлены образцы, а именно: контрольные сварные соединения, толщиной 2,5 мм.

На рисунке 7 показаны эскизы образцов для испытаний на растяжение и статический изгиб. На рисунке 8 можно увидеть эскизы для испытаний на ударный изгиб.

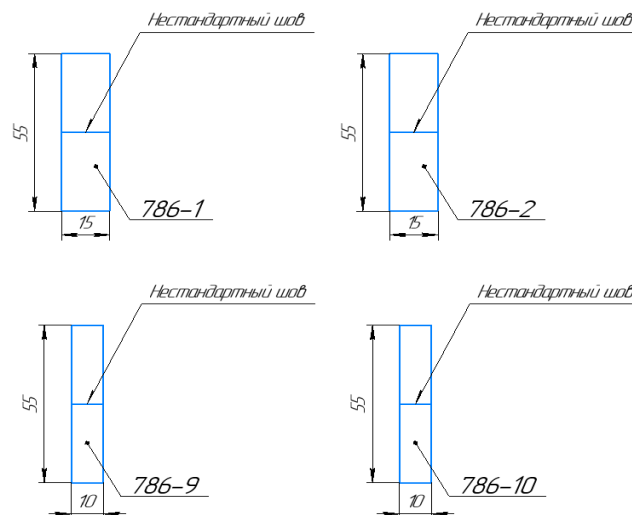


Рис. 7 Испытания на растяжения и статический изгиб

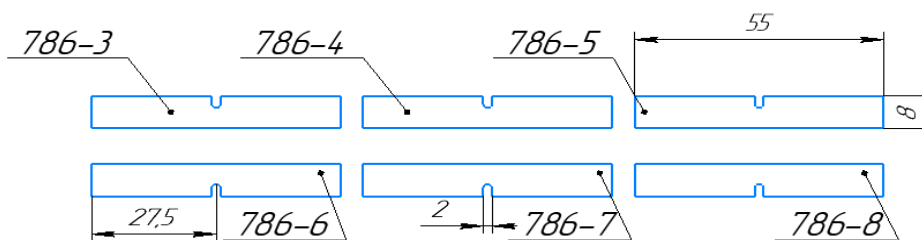


Рис. 8 Испытания на ударный изгиб

Результаты экспериментальных исследований

В таблице 4 представлены результаты химического анализа стали 09Г2С. В таблице 5 можно увидеть результаты образцов металла на растяжение.

Таблица 4. Химический состав стали 09Г2С

Наименование образца	Химический состав, %								Результаты контроля
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	
Образец стали 09Г2С	0,1	0,58	1,32	0,001	0,004	0,15	0,07	-	Соответствует стали 09Г2С

Таблица 5. Результаты образцов металла на растяжение, стали 09Г2С

Маркировка образца	Диаметр/размер образца, $\phi / b \times a$, мм	Временное сопротивление $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	Место разрушения	Относительное удлинение δ , %
786 – 1	15,0 × 2,6	509,6 (52,0)	Основной металл	18,6
786 – 2	15,0 × 2,6	518,4 (52,9)	Основной металл	18,4
Среднее значение для двух образцов		514,5 (52,5)	-	18,5
Значение по ГОСТ 17066 – 94 и ГОСТ Р 52400, не менее		490	-	18

В таблице 6 и 7 показаны результаты образцов металла на статический и ударный изгибы.

Таблица 6. Результаты образцов металла на статический изгиб, стали 09Г2С

Маркировка образца	Размер образца, $b \times a$, мм	Диаметр оправки, мм	Угол изгиба, градус	Результаты
786 – 9	10,0 × 2,5	5	100	Удовл.
786 – 10	10,0 × 2,5	5	100	Удовл.

Таблица 7. Результаты образцов металла на ударный изгиб, стали 09Г2С

Маркировка образца	Тип образца по ГОСТ 6996 – 66	Температура испытания, °С	Расположение шва	Значение по НД, МДж/см ² ($\text{кгс} \times \text{м}/\text{см}^2$)	Ударная вязкость КСУ, МДж/см ² ($\text{кгс} \times \text{м}/\text{см}^2$)	Среднее значение для трёх образцов, МДж/см ² ($\text{кгс} \times \text{м}/\text{см}^2$)
786 – 3	VIII	минус 60	центр шва	0,4 (4)	0,50 (5)	0,47 (4,7)
786 – 4	VIII	минус 60	центр шва		0,50 (5)	
786 – 5	VIII	минус 60	центр шва		0,40 (4)	
786 – 6	VIII	20	центр шва	0,8 (8)	1,00 (10,0)	0,93 (9,3)
786 – 7	VIII	20	центр шва		0,90 (9,0)	
786 – 8	VIII	20	центр шва		0,90 (9,0)	

Результаты экспериментальных исследований можно свести к следующему:

1. Определён химический анализ образца стали 09Г2С. Установлено, что реальный химический состав металла листов соответствует заявленному. – Оптико – эмиссионный спектрометр Q4 TASMAR
2. Испытания на растяжение, ударный и статический изгибы показали, что представленные контрольные сварные соединения соответствуют требованиям ГОСТ Р 52400-2005 г. п.4.3.2, а также п.4.3.3 по перечисленным показателям.

Выводы

1. Рассмотрен вопрос повышения эффективности эксплуатации робототехнического комплекса для производства резервуаров воздушного типа Р7 – 78, а также были проанализированы возможные методы и способы уменьшения количества остановок РТК;
2. Выполнен расчёт сварочных напряжений и деформаций по методу конечных элементов обечайки диаметров 299 мм, 300 мм, 301 мм, 302 мм листов марок сталей 09Г2С, 10ХНДП толщиной 2,5 мм;
3. Подготовлены образцы, разработан план экспериментальных исследований, включающий в себя определение химического состава металла, испытания на растяжение, статический и ударный изгибы;
4. Представленные на испытания контрольные образцы сварного соединения из стали 09Г2С, заваренные проволокой Св – 08Г2С по испытанным показателям соответствуют требованиям ГОСТ Р 52400 – 2005 п. 4.3.2, п. 4.3.3 по перечисленным показателям.

Список литературы:

1. ГОСТ 1561 – 75 Резервуары воздушные для автотормозов вагонов железных дорог. Технические условия (с Изменением N 1)
2. ГОСТ Р 52400 – 2005 Резервуары воздушные для тормозов вагонов железных дорог. Общие технические условия
3. ОКПД2 Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности ОК 034 – 2014 (КПЕС 2008) (с учетом изменений с 1/2015 по 34/2019)
4. ТН ВЭД СНГ Товарная Номенклатура Внешнеэкономической Деятельности Содружества Независимых Государств
5. ГОСТ 19903 – 2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.
6. Варнавский Е. В., Абабков Н. В. О проблемах при эксплуатации робототехнического комплекса для сварки резервуаров воздушного типа Р7 – 78 // Сборник трудов IV Международной научно – практической конференции «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте». 2020. – № 112. – 3 с.
7. Баканов, А. А. Анализ напряженно-деформированного состояния листов в процессе рулонирования / А. А. Баканов, А. И. Мирошник, М. В. Пимонов и др. // Инновации в машиностроении: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2020. – С. 207–213.
8. Баканов, А. А. Механические свойства основного металла и металла сварных соединений после рулонирования листов на каркасы разных диаметров / А. А. Баканов, А. И. Мирошник, М. В. Пимонов и др. // Инновации в машиностроении: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2020. – С. 213–220.

© Варнавский Е. В.